

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2003-092033

(43) Date of publication of application : 28.03.2003

(51) Int.CI. H01B 12/08  
H01F 6/06

(21) Application number : 2001-282433 (71) Applicant : FUJIKURA LTD

CHUBU ELECTRIC POWER CO  
INC

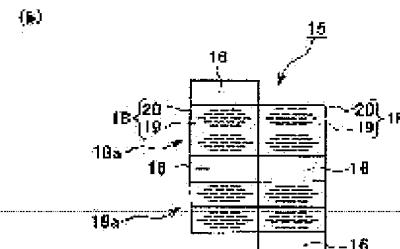
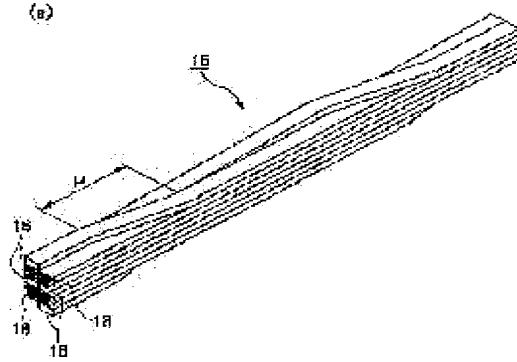
(22) Date of filing : 17.09.2001 (72) Inventor : GOTO KENJI  
SUZUKI TOMOSHI  
TAKEDA KAORU  
NAGAYA SHIGEO  
KAJIMA NAOJI

## (54) TRANSPOSITION SUPERCONDUCTIVE TAPE UNIT AND SUPERCONDUCTIVE APPLICATION EQUIPMENT USING THE SAME

### (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a transposition superconductive tape unit that has a sufficient superconductive property and improved strength, and a superconductive application equipment such as a superconductive cable, a superconductive transformer, a superconductive magnet, a superconductive current limitter or the like using this transposition superconductive tape unit.

**SOLUTION:** This is a transposition superconductive tape unit 15 that is constructed by transposing and twisting a plurality of superconductive conductors 18 of tape shape and one or more of reinforcement material 16 of tape shape, and a superconductive application equipment using the transposition superconductive tape unit 15 is provided.



(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特願2003-92033

(P2003-92033A)

(43)公開日 平成15年3月28日 (2003.3.28)

(51)Int.Cl?

H 01 B 12/08  
H 01 F 6/06

識別記号

Z A A

F I

H 01 B 12/08  
H 01 F 5/08

ターボード(参考)

Z A A 5 G 3 2 1  
B

審査請求 未請求 詞求項の数6 O.L (全 9 頁)

(21)出願番号

特願2001-282433(P2001-282433)

(71)出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(71)出願人 000213297

中部電力株式会社

愛知県名古屋市東区東新町1番地

(72)発明者 後藤 謙次

東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会

社フジクラ内

(74)代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外3名)

(22)出願日

平成13年9月17日 (2001.9.17)

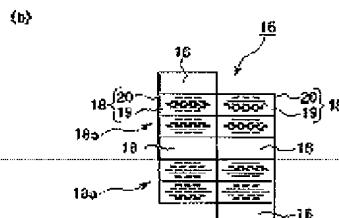
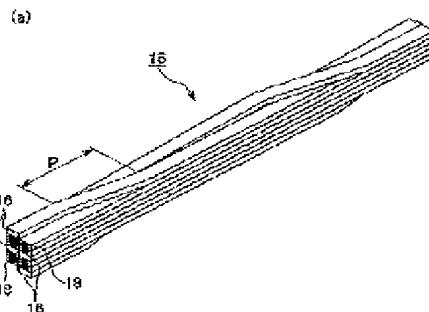
最終頁に続く

(50)【発明の名称】 転位超電導テープユニット及びこれを用いた超電導応用機器

(57)【要約】

【課題】 十分な超電導特性を有するうえ、強度を向上させた転位超電導テープユニットの提供を課題とする。このような転位超電導テープユニットを用いた超電導ケーブル、超電導変圧器、超電導マグネット、超電導限流器等の超電導応用機器の提供を他の課題とする。

【解決手段】 複数本のテープ状の超電導導体18と、1本以上のテープ状の偏強材16とが転位燃り合わされでなる転位超電導テープユニット15。転位超電導テープユニット15を用いた超電導応用機器。



(2)

特開2003-92033

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 テープ状の超電導導体の複数本と、1本以上のテープ状の補強材とが転位燃り合わせてなることを特徴とする転位超電導テープユニット。

【請求項2】 前記転位超電導テープユニットの中央部に、綫に配置されたテープ状の補強材が通されたことを特徴とする請求項1記載の転位超電導テープユニット。

【請求項3】 テープ状の超電導導体の複数本が転位燃り合わせてなる転位超電導テープユニットにおいて、前記転位超電導テープユニットの中央部に綫に配置されたテープ状の補強材が通されていることを特徴とする転位超電導テープユニット。

【請求項4】 テープ状の補強材は、非磁性金属材料又は非磁性のオーステナイト系金属材料からなることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の転位超電導テープユニット。

【請求項5】 請求項1乃至4のいずれか一項に記載の転位超電導テープユニットを用いたことを特徴とする超電導応用機器。

【請求項6】 請求項1乃至4のいずれか一項に記載の転位超電導テープユニットが管体の周囲に巻回されてなることを特徴とする超電導ケーブル。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、テープ状の超電導導体を複数本転位燃り合わせた転位超電導テープユニット及びこれを用いた超電導応用機器に係り、詳しくは十分な超電導特性を有するうえ、強度を向上させた転位超電導テープユニット及びこれを用いた超電導応用機器に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 超電導ケーブル、超電導変圧器、超電導マグネット、超電導液体冷却器等の超電導応用機器には、テープ状の超電導素線や、テープ状の超電導導体や、あるいはテープ状の超電導導体を複数本転位燃り合わせた転位超電導テープユニットが用いられている。図6は、従来の転位超電導テープユニットが備えられた超電導ケーブルの例を示す斜視図であり、図7は、図6の超電導ケーブルに備えられた転位超電導テープユニットの説明図であり、(a)は斜視図、(b)は断面図である。図6の超電導ケーブル110は、交流電流通過時ににおいて偏磁を抑制した構造を有するもので、転位超電導テープユニット115がパイプ状のフォーマ(管体)117の周囲に螺旋状に巻回されてなるものである。この転位超電導テープユニット115は、図7(a)に示すようにテープ状の超電導導体(超電導テープ)118を複数本(図面では5本)転位燃り合わせてなる長尺の帯状のものである。この転位超電導テープユニット115では、テープ状の超電導導体118の複数本を集合して燃り合はず間に、各テープ状の超電導導体118がその長尺方

向において、順次その位置を代えて変位するように燃り合わされたものである。

【0003】 フォーマ117の表面は、該フォーマ117と転位超電導テープユニット115間の通電を抑制するためには絶縁処理が施されている。また、このフォーマ117の内部は、冷却媒体の流路とされ、テープ状の超電導導体118の冷却が行われる。テープ状の超電導導体118は、図7(b)に示すように、超電導多心素線(超電導素線)が平坦化されてなるテープ状の超電導素線119の表面に硫化処理が施されて高抵抗化膜120が形成されてなるものである。上記超電導多心素線は、A8等から形成されたシース材からなる基材の内部に、超電導フィラメントなどの超電導体からなるコア部または熱処理により超電導体となる材料を有するコア部が備えられてなるものである。上記コア部の超電導体あるいは熱処理により超電導体となる材料としては、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>(Bi2212相)、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>(Bi2223相)などで示される組成を持つものが用いられる。上記のような構成の超電導ケーブル110の外側には、図示しない半導体層、絶縁層、保護層、断熱層、防食層などが必要に応じて形成されて使用される。

【0004】 図8は、従来の超電導テープが備えられた超電導変圧器の巻線部の例を示す図であり、図9はこの巻線部の端部を示す図である。この巻線部130は、円筒形の巻枠140と、この巻枠140に巻かれたテープ状の超電導導体(超電導テープ)145とから構成されたものが知られている。巻枠140には、図9に示すように複数の溝141が順平行に形成されている。ここでテープ状の超電導導体145のコア部としては、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>(Bi2223相)等の超電導体あるいは熱処理により超電導体となる材料が用いられている。ここで用いられる超電導導体145がテープ状とされるのは、酸化物超電導体、特に、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>(Bi2223相)等の超電導体は結晶の配向性(特にA面B面の配向性)を備え高臨界電流特性化を図るために、通常、圧延加工と熱処理を繰り返すことにより高特徴化を行っている。

【0005】 巻線141内には上記のようなテープ状の超電導導体145が複数巻層(図面では3層巻層)され、嵌め入れられることにより巻枠140に巻き付けられているが、その際、図9の(b)に示すように一つの溝141aに嵌められた最外層の超電導導体145cは途中から緩やかに次の溝141bに移行してこの溝141bに嵌め入れられ、その後、所定の間隔をあけて次の巻(最外層の下側の巻)の超電導導体145bが次の溝141bに途中から緩やかに移行してこの溝141bに嵌め入れられて先に移行させた超電導導体145cの外側(上)に巻く方法(巻内転位法)が採用されている。このような超電導変圧器の巻線部130では、超電導

(3)

特開2003-92033

3

体の補強のために隣接する溝141、141間隔（スペーサ間隔）を小さくしている。

【0006】次に、強磁場で使用される超電導マグネットにおいては、磁場発生時において強大な誘導力が巻線部に加わる。そのため巻線部に備えられるテープ状の超電導体の高強度化のために各種の開発がなされている。高強度化された従来のテープ状の超電導体の例としては、銀シースにCu等の元素を添加したものや、コア部材料としてBi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>（Bi2212相）を用いたものを液体ヘリウム中で使用するようにしたもののが知られている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上記のような超電導応用機器に用いられた従来のテープ状の超電導体や転位超電導テープユニットは、強度を十分に向上できないという問題があった。特に、シース材の高強度化によりテープ状の超電導体を強度を向上する方法では、Mg、Sb、Mn等を銀中に0.1～0.3wt%添加した銀合金シース材を超電導体の外周部分に用いており、この場合、超電導体の製造工程で行う熱処理時（約800°C～900°Cで、数百時間程度）に上記の添加元素の拡散により超電導特性の低下を引き起こすのを防ぐために、添加元素の添加量が0.3wt%以下に制約されるため、導体の補強効果もある一定のレベル以下に制約されてしまう。

【0008】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、十分な超電導特性を有するうえ、強度を向上させた転位超電導テープユニットを提供することを目的とする。また、本発明は、十分な超電導特性を有するうえ、機械的強度を向上させた転位超電導テープユニットを用いた超電導ケーブル、超電導変圧器、超電導マグネット、超電導限流器等の超電導応用機器の提供を他の目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、テープ状の超電導体の複数本と、1本以上のテープ状の補強材とが転位撲り合わされてなることを特徴とする転位超電導テープユニットを上記課題の解決手段とした。上記構成の転位超電導テープユニットにおいては、さらに前記転位超電導テープユニットの中央部に縦に配置されたテープ状の補強材が追加されていることが好ましい。

【0010】また、本発明は、テープ状の超電導導体の複数本が転位撲り合わされてなる転位超電導テープユニットにおいて、前記転位超電導テープユニットの中央部に縦に配置されたテープ状の補強材が追加されていることを特徴とする転位超電導テープユニットを上記課題の解決手段とした。上記のいすれかの構成の本発明の転位超電導テープユニットにおいて、上記テープ状の補強材は、非磁性金属材料又は非磁性のオーステナイト系金属材料からなるものであってもよい。上記非磁性金属材料

としては、ハスチロイ等を用いることができる。上記非磁性のオーステナイト系金属材料としては、SUS304、SUS316等のオーステナイト系ステンレス鋼等を用いることができる。

【0011】本発明において、上記テープ状の超電導導体としては、テープ状の超電導素線の表面に硫化処理が施されて高抵抗化膜が形成されたものであってもよい。本発明において、上記テープ状の超電導素線は、超電導体からなるコア部または熱処理により超電導体となる材料を有するコア部がシース材からなる基盤の内部に備えられてなる超電導素線を平坦化してなるものであり、前記高抵抗化膜は前記基盤を形成するシース材よりも電気抵抗率の高いものであることが好ましい。上記コア部をなす超電導体またはコア部の熱処理により超電導体となる材質としては、導体では機械的に脆い性質を有する超電導材料が挙げることができ、例えば、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>（Bi2212相）、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>（Bi2223相）、Bi<sub>2</sub>Pb<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>、Tl<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>、Y<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>などで示される組成をもつ酸化物超電導材料のような高溫超電導材や、Nb<sub>3</sub>Sn、Nb<sub>3</sub>Alなどで示される組成をもつ超電導材料のうちから選択された一種以上のものが用いられ、特に、Bi系2223相またはBi系2212相のBi系酸化物超電導材料が用いられることが好ましい。

【0012】上記シース材が、Ag、Pt、Au等の貴金属あるいはそれらの合金からなるものであることが好ましい。上記高抵抗化膜は、上記シース材の硫化物からなるものであることが好ましく、このなかでも硫化銀からなることがさらに好ましい。

【0013】また、本発明は、上記のいすれかの構成の本発明の転位超電導テープユニットを用いたことを特徴とする超電導応用機器を上記課題の解決手段とした。また、本発明は、上記のいすれかの構成の本発明の転位超電導テープユニットが管体の周囲に巻回されてなることを特徴とする超電導ケーブルを上記課題の解決手段とした。本発明の超電導ケーブルにおいては、これに用いられる本発明の転位超電導テープユニットを構成する上記テープ状の超電導導体の横断面形状とテープ状の補強材の横断面形状がそれぞれ矩形状であることが好ましい。上記管体は、ステンレス鋼製とされることが好ましい。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る転位超電導テープユニットと、これを用いた超電導応用機器の一実施形態を、図面に基づいて説明する。

（転位超電導テープユニットの第1の実施形態）図1は、本発明の転位超電導テープユニットの第1の実施形態を示す図であり、（a）は斜視図、（b）は断面図である。本実施形態の転位超電導テープユニット11は、図1（a）に示すように複数本（図面では8本）のテ

(4) 特開2003-92033

5

フ状の超電導導体（超電導テープ）18と、複数本（図面では4本）のテープ状の補強材（補強テープ）16とが軸位燃り合わせてなる長尺の層状のものである。さらに詳しくは、テープ状の超電導導体（超電導テープ）18を上下左右に横巻した横巻体（図面では超電導導体18を4本巻ねた横巻体）18a、18aの間にテープ状の補強材16、16が左右に並列され、さらに一方の横巻体18aの上にテープ状の補強材16が添設され、他方の横巻体18aの下にテープ状の補強材16が添設されており、さらにこれらの複数本のテープ状の超電導導体18と複数本のテープ状の補強材16は燃り合わせ際に、各テープ状の超電導導体18や各テープ状の補強材16がその長尺方向において、順次その位置を代えて変位するように燃り合わせられたものである。

【0015】上記テープ状の超電導導体18は、図1(b)に示すようにテープ状の超電導素線19の表面に硫化処理が施されて高抵抗化膜20が形成されてなるものである。この超電導導体18の横断面形状は、矩形状とすることが好ましい。この超電導導体18の具体的寸法は、幅1.0mm～5.0mm程度、厚さ0.1mm～1.0mm程度の範囲のものとされる。上記高抵抗化膜20は、後述するシース材の硫化物からなるものであり、このなかでも硫化銀からなることが好ましい。このような高抵抗化膜20は、後述する基地29を形成するシース材よりも電気抵抗率が高くなっていることが、テープ状の超電導導体18の表面を高抵抗化することができ、隣接するテープ状の超電導導体18のシース材29に漏電流が導通することができなく、各々のテープ状の超電導導体18の内部に漏電流が留まるようになる点で好ましい。例えば、基地29が電気抵抗率の低いAg(77Kにおいて電気抵抗率が約3μΩcm)等から構成されている場合、該基地29の周囲の高抵抗化膜20が電気抵抗率の高い硫化銀(77KにおいてAgの電気抵抗率の約100倍以上の電気抵抗率を有する)などから構成される。

【0016】上記テープ状の超電導素線19は、図2に示すような超電導多心素線（超電導素線）25が平坦化されてなるものである。この超電導素線19の横断面形状は、矩形状とすることが好ましい。この超電導素線19は、幅1.0mm～5.0mm程度、厚さ0.1mm～1.0mm程度の範囲のものとされる。上記超電導多心素線25は、超電導フィラメントなどの複数本の超電導導体27からなるコア部28または熱処理により超電導導体となる材料27を有するコア部28がシース材からなる基地29の内部に備えられてなるものである。

【0017】コア部28の超電導導体27あるいは熱処理により超電導導体となる材料27としては、導体では機械的に脆い性質を有する超電導材料が挙げることができ、例えば、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>（Bi-2212相）、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>（Bi-2223相）。

Bi<sub>1-x</sub>Pb<sub>x</sub>、Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>、Tl<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>、Y<sub>1-x</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>などと示される組成をもつ酸化物超電導材料のような高温超電導材料や、Nb<sub>3</sub>Sn、Nb<sub>3</sub>Alなどで示される組成をもつ超電導材料のうちから選択された一種以上のものが用いられる。特に、Bi系2223相またはBi系2212相のBi系酸化物超電導材料が用いられる。基地29を形成するシース材としては、Ag、Pt、Au等の貴金属あるいはこれらの合金からなるものが用いられる。

10 【0018】テープ状の補強材16は、非磁性金属材料又は非磁性のオーステナイト系金属材料からなるものが用いられる。上記非磁性金属材料としては、ハステロイ等を用いることができる。上記非磁性のオーステナイト系金属材料としては、SUS304、SUS316等のオーステナイト系ステンレス鋼等を用いることができる。このテープ状の補強材16の横断面形状は、超電導導体18の横断面形状と同様の矩形状とすることが好ましい。この補強材16の具体的寸法は、幅1.0mm～5.0mm程度、厚さ0.1mm～1.0mm程度の範囲のものとされる。

【0019】次に、図1に示した軸位超電導テープユニット15の製造方法の一例を工程順に説明する。

【原料粉末処理工程】酸化物超電導物質の原料粉末、例えばBi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、PbO、SrCO<sub>3</sub>、CaCO<sub>3</sub>、CuO、からなるものを、Bi: Pb: Sr: Ca: Cuの混合比が1.8:0.4:2.2:3.0となるように混合し、780℃～820℃の範囲の温度条件においておとなう熱処理（仮焼き）と該仮焼きした後における粉碎とを複数回繰り返す。ここで、混合する原料粉末は、

36 上記の他にBi、Pb、Sr、Ca、Cuの各元素の酸化物、炭酸塩のいずれでもよい。

【充填工程】上記粉碎した原料粉末をCIP（冷間静水圧プレス）成形等により例えれば円柱体とし、ついでこの円柱体をAg等のシース材からなる第一のパイプ内部に充填して封入し、シース材複合体（Agシース複合体）を形成する。

【0020】（単心線の伸線（引き抜き）加工工程）上記シース材複合体（Agシース複合体）を、ダイス等によって所定の線径にまで伸線加工し、超電導単心素線（単心線）を形成する。

【多心化工程】Ag等のシース材からなる第二のパイプの内部に上記単心線を所定数（例えば、19本）配置し、封入を行った後、ダイス等により所定の線径にまで伸線加工して、図2に示すような超電導多心素線（超電導素線）25を形成する。

【0021】（超電導素線の圧延熱処理反復工程）上記超電導多心素線25をロール圧延等の圧延加工により、所定の厚さまで圧延して平坦化する。ここで、圧延加工に用いる装置としては、例えば、上下一対のロールを備えた2重圧延機と、このロール間に超電導多心素線25

(5)

特開2003-92033

8

7

を送り出す送出ドラムと上記ロール間で圧延された超導多心素線25を巻き取る巻取ドラムとからなる搬送機からなる圧延装置(図示略)が好適に用いられる。このような圧延装置を用いて超導多心素線25を圧延するには、上記送出ドラムから超導多心素線25を上記ロール間に送り出して圧延するとともに圧延された超導多心素線25を巻取ドラムで巻き取ることにより行われる。ついで、この平坦化した超導多心素線25を、例えば熱処理ドラムに巻回状態として電気炉等の内部に収容し、温度条件を、820°C～850°Cの範囲とし、処理時間を、10時間～200時間の範囲に設定して熱処理を行う。更に、上記圧延加工(またはプレス処理)および熱処理を複数回繰り返して、所定の厚みのテープ状の超導素線19を形成する。

【0022】(超導素線の硫化工程)上記テープ状の超導素線19の表面に硫化処理を施して高抵抗化膜20を形成することにより、図1に示すようなテープ状の超導導体(超導テープ)18を形成する。ここでの硫化処理に用いる装置としては、例えば、真空排気可能であり、内部に硫黄蒸気が満たされる反応容器と、該反応容器内にテープ状の超導素線19を送り出す送出ドラムと、上記反応容器内で硫化処理が施されたテープ状の超導素線19を巻き取る巻取ドラムとからなる硫化処理装置が好適に用いられる。上記反応容器には、テープ状の超導素線19を内部に導入する導入孔と、導入されたテープ状の超導素線19を導出するための導出孔が形成されており、これら導入孔と導出孔の周縁部には、テープ状の超導素線19を通過させている状態で各孔の隙間を閉じて上記反応容器内を密閉状態にする封止機構が設けられている。また、上記反応容器には、ヒータ(図示略)が備えられており、この反応容器を加熱できるようになっている。

【0023】このような硫化処理装置を用いてテープ状の超導素線19の表面に硫化処理を施すには、上記反応容器の内部を真空排気した後、該反応容器内に所定温度範囲の硫黄蒸気を供給し、ついで、上記送出ドラムからテープ状の超導素線19を上記硫黄蒸気が満たされた上記反応容器内に送り出すとともに硫化処理が施されたテープ状の超導素線19を上記巻取ドラムで巻き取ると、表面に高抵抗化膜20を有するテープ状の超導導体(超導テープ)18が得られる。上記の反応容器内に供給される硫黄蒸気としては、二塩化硫黄、二塩化二硫黄、二酸化硫黄などの蒸気を挙げることができる。上記反応容器内に供給される硫黄蒸気の温度としては、50°C～170°C程度の範囲内とされる。上記反応容器内の温度としては、供給された硫黄蒸気が液化しないような温度である。硫化処理時間としては、60～300～600秒程度である。ここでの硫化処理時間は、上記反応容器内に送り込むテープ状の超導素線19の速度等によって変更できる。

【0024】(補強材の圧延反復工程)線状の補強材(テーブ状にする前の補強材16)をロール圧延等の圧延加工により、所定の厚さまで圧延して平坦化する。ここでの圧延加工に用いる装置としては、例えば、上下一对のロールを備えた2重圧延機と、このロール間に線状の補強材を送り出す送出ドラムと上記ロール間で圧延された補強材16を巻き取る巻取ドラムとからなる圧延装置(図示略)が好適に用いられる。このような圧延装置を用いて上記線状の補強材を圧延するには、上記送出ドラムから線状の補強材を上記ロール間に送り出して圧延するとともに圧延された補強材を巻取ドラムで巻き取ることにより行われる。更に、上記圧延加工(またはプレス処理)を複数回繰り返して、所定の厚みのテープ状の補強材16を形成する。

【0025】(転位燃り合せ工程)転位燃り合せ機を用いて上記テープ状の超導導体18の複数本(本実施形態では8本)と、テープ状の補強材16の複数本(本実施形態では4本)とを所定の転位ピッチで転位燃り合させて図1に示すような転位超導素線ユニット15を形成する。ここで転位ピッチ(転位燃渡り部長さ)Pとしては、20mm～500mm程度の範囲内とされる。

【0026】本実施形態の転位超導素線ユニット15によれば、上記テープ状の超導導体18の複数本と、上記テープ状の補強材16の複数本とが転位燃り合わされてなるものであるので、転位燃り合わされた複数本のテープ状の超導導体18間や外側に上記テープ状の補強材16が組み込まれる構造となり、十分な超導特性を有するうえ、機械的強度を向上させることができる。なお、本実施形態では、転位超導素線ユニット15を8本のテープ状の超導導体18と4本のテープ状の補強材16とから構成した場合について説明したが、要求される超導特性や機械的強度に応じてテープ状の超導導体18やテープ状の補強材16の本数を選択することで目的とする特性を備えた転位超導素線ユニットの提供が可能である。

【0027】(転位超導素線ユニットの第2の実施形態)図3は、本発明の転位超導素線ユニットの第2の実施形態を示す斜視図である。この第2の実施形態の転位超導素線ユニット55が図1に示した第1の実施形態の転位超導素線ユニット15と異なるところは、転位超導素線ユニットの中央部に縦に配置されたテープ状の補強材16が通されており、即ち、転位超導素線ユニットの中央部を横断するようにテープ状の補強材16が組み込まれている点である。

【0028】第2の実施形態の転位超導素線ユニット55では、転位超導素線ユニットの中央部に縦に配置されたテープ状の補強材16が通されているので、第1の実施形態の転位超導素線ユニット15よりもさらに機械的強度を向上させることができる。また、転

50

(6) 特開2003-92033

9

位超導テープユニット56の中央部に通されたテープ状の補強材16は、縦に配置されているので、左右に並列されたテープ状の超導導体18、18の間に介在されることとなり、テープ状の超導導体18…の左右方向(横方向)の位置ずれを防止できる。

【0029】(転位超導テープユニットの第3の実施形態)図4は、本発明の転位超導テープユニットの第3の実施形態を示す斜視図である。この第3の実施形態の転位超導テープユニット35は、複数本(図面では12本)のテープ状の超導導体(超導テープ)18を転位燃り合わせた転位超導テープユニットの中央部に縦に配置されたテープ状の補強材16が通されており、即ち、転位超導テープユニットの中央部を縦断するようにテープ状の補強材16が組み込まれている点である。

【0030】本実施形態の転位超導テープユニット35によれば、転位超導テープユニットの中央部に縦に配置されたテープ状の補強材16が通されているので、転位超導テープユニットの中央部にテープ状の補強材16が組み込まれる構造となり、組み込まれるテープ状の補強材16が少なくとも十分な超導特性を有するうえ、機械的強度を向上させることができる。また、この転位超導テープユニット35は、組み込まれるテープ状の補強材16の本数が少なくとも機械的強度を向上できるので、コンパクトでしかも効果的に補強効果を得ることができる。このような効果は、特に、転位超導テープユニットに組み込まれるテープ状の超導導体18の本数が4本から本以上である場合や、テープ状の超導導体18の厚みが厚い場合、例えば、0.3mm以上ある場合に特に顕著な効果を發揮できる。また、転位超導テープユニット35の中央部に通されたテープ状の補強材16は、縦に配置されているので、左右に並列されたテープ状の超導導体18、18の間に介在されることとなり、転位超導テープユニットを構成する複数のテープ状の超導導体18の左右方向(横方向)の位置ずれを防止できる。

【0031】(超導ケーブルの実施形態)図5は、本発明の実施形態の転位超導テープユニットを用いた超導ケーブルの一実施形態を示す斜視図である。この超導ケーブル40は、転位超導テープユニット45がパイプ状のフォーマ(管体)47の周囲に螺旋状に巻回されてなるものである。ここで用いられる転位超導テープユニット45は、上述した第1乃至第3の実施形態の転位超導テープユニット15、56、35のうちいずれか1種または2種以上が用いられる。このような転位超導テープユニット45の巻回方向は、S巻(右巻)の方向またはZ巻(左巻)の方向となっている。

【0032】上記フォーマ47は、ステンレス鋼などからなるものである。このようなフォーマ47の表面は、該フォーマ47と転位超導テープユニット45との通

10

音を抑制するために絶縁処理が施されている。このフォーマ47の内部は、液体窒素等の冷却媒体の通路とされ、転位超導テープユニット45を構成するテープ状の超導導体18の冷却が行われる。

【0033】このような構成の超導ケーブル40の製造方法としては、例えば、上記転位超導テープユニット45の複数組を表面に絶縁処理が施されたフォーマ47の周囲に所定のスパイラルピッチで2巻あるいは5巻で巻回することにより、図5に示すような超導ケーブル40が得られる。ここでスパイラルピッチとしては、100~200mm程度の範囲内とされる。このような構成の超導ケーブル40の外側には、図示しない半導体層、絶縁層、保護層、断熱層、防食層などが必要に応じて形成されて使用される。

【0034】本実施形態の超導ケーブル40は、超導特性が十分で、機械的強度を向上させた本発明の実施形態の転位超導テープユニット45が用いられたものであるので、優れた特性を有するものとすることができる。なお、上述した実施形態においては、本発明の実施形態の転位超導テープユニットを超導ケーブルに用いた場合について説明したが、本発明の転位超導テープユニットは超導変圧器、超導マグネット、超導限流器等の超導導应用機器の巻線部に用いることができる。本発明の転位超導テープユニットが巻線部に用いられた超導導应用機器は、優れた特性を有するものと/or することができる。

【0035】

【実施例】以下、本発明を、実施例および比較例により、具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例のみに限定されるものではない。

(実施例)  $Bi_2O_3$ 、 $PbO$ 、 $SrCO_3$ 、 $CaCO_3$ 、 $CuO$ 、を、 $Bi : Pb : Sr : Ca : Cu$ の混合比が1.8:0.4:2.2:3.0となるように混合し、800°Cの温度条件において行う熱処理(仮焼成)と該仮焼成した後における粉碎とを複数回繰り返して、原料粉末を得た。この原料粉末をCIP(冷間静水圧プレス)成形により円筒状として、外径15mm、内径10mmのAgパイプ(第一のパイプ)内部に充填して封入し、Agシース複合体を得た。このAgシース複合体を40ダイス等によって線径1.9mmにまで伸線加工して单心線を形成した。ついで、外径15mm、内径10mmのAgパイプ(第二のパイプ)の内部に上記单心線を19本配置し、封入を行った後、ダイス等により線径0.9mmにまで伸線加工して、超導多心糸線を形成した。

【0036】この超導多心糸線を、2重圧延機と搬送機からなる圧延装置を用いて厚さ0.30mmまで圧延加工を施し、平滑化した。さらにこの平滑化した超導糸線を熱処理ドラムに巻回した状態で、上述の電気炉の内部に収容し、温度条件が830°C、処理時間が150

(7)

特開2003-92033

11

時間として熱処理を行った。更に、上記圧延加工（またはプレス処理）および熱処理を複数回繰り返して、幅2.0mm、厚さ0.20mmの横断面形状が矩形状のテープ状の超電導素線を形成した。ついで、流化処理装置を用い、反応容器の内部を真空排気した後、該反応容器に約150°Cの流質蒸気を供給し、ついで、送出ドラムからテープ状の超電導素線を線速20cm/時間で上記流質蒸気が満たされた反応容器内に送り出すとともに流化処理が施されたテープ状の超電導素線を巻取ドラムで巻き取ると、表面に黒色の流化膜からなる高抵抗膜を有するテープ状の超電導導体（超電導テープ）が得られた。なお、ここで反応容器内の雰囲気圧力は、約1atm（1.01325×10<sup>5</sup>Pa）であった。一方、オーステナイト系ステンレス鋼からなる線状の補強材を、2重圧延機と鍛造機からなる圧延装置を用いて圧延加工（またはプレス処理）を複数回繰り返して、幅2.0mm、厚さ0.20mmの横断面形状が矩形状のテープ状の補強材（SUSテープ）を形成した。

【0037】ついで、作製した上記テープ状の超電導導体8本と、テープ状の補強材4本とを転位燃り合せ機を用いて転位ピッチ100mmで転位燃り合わせて図1に示すような転位超電導テープユニット（実施例1）を得た。また、作製した上記テープ状の超電導導体12本を\*

「表1」

	臨界電流(A)	機械的強度(MPa)
実施例1	212	410
実施例2	320	350
比較例1	208	120
比較例2	310	110

【0040】表1に示した結果から8本のテープ状の超電導導体と、4本のテープ状の補強材（SUSテープ）とを転位燃り合せた実施例1の転位超電導テープユニットは、8本のテープ状の超電導導体を転位燃り合せた比較例1の転位超電導テープユニットと同等以上の臨界電流が得られており、また、機械的強度については比較例1のものより大幅に強度が優れていることがわかる。また、12本のテープ状の超電導導体を燃り合せる際、転位超電導テープユニット中央部に縦に配画されたテープ状の補強材が通されるようにした実施例2の転位超電導テープユニットは、12本のテープ状の超電導導体を転位燃り合せた比較例2の転位超電導テープユニットと同等以上の臨界電流が得られており、また、機械的強度については比較例2のものより六倍に強度が優れていることがわかる。

【0041】

【発明の効果】以上説明したように本発明の転位超電導テープユニットによれば、十分な超電導特性を有するうえ、強度を向上させたものが得られる。また、本発明の超電導応用機器によれば、十分な超電導特性を有するうえ、機械的強度を向上させた本発明の転位超電導テープ

\*転位燃り合せ機を用いて転位燃り合わせる際、転位超電導テープユニットの中央部に縦に配置されたテープ状の補強材を通すようにすることにより、図4に示すような転位超電導テープユニット（実施例2）を得た。また、作製した上記テープ状の超電導導体8本を転位燃り合せ機を用いて転位ピッチ100mmで転位燃り合わせて転位超電導テープユニット（比較例1）を得た。また、作製した上記テープ状の超電導導体12本を転位燃り合せ機を用いて転位ピッチ100mmで転位燃り合わせて転位超電導テープユニット（比較例2）を得た。

【0038】次に、このようにして得られた実施例1～2と比較例1～2の転位超電導テープユニットの超電導特性と機械的強度を測定した。ここで超電導特性は、77K、0テスラにおける臨界電流（A）を測定した。また、ここで機械的強度は、作製した転位超電導テープユニットの両端をSUS板（ステンレス鋼板）ではさみ込んでネジ止め（かしめ固定）し、有効長300mmに引張試験機を用いて5tonの荷重をかけて試験を行うことにより測定した。その結果を下記表1に示す。表1中の臨界電流は、1μm/cm以上示すときの値である。また、表1中の機械的強度は、永久伸びの値がり2%のときの耐力である。

【0039】

30 ユニットが用いられているので、優れた特性を有することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の転位超電導テープユニットの第1の実施形態を説明するための図であり、(a)は斜視図、(b)は断面図である。

【図2】 図1の転位超電導テープユニットを構成するテープ状の超電導素線に用いられる超電導素線の説明図である。

【図3】 本発明の転位超電導テープユニットの第2の実施形態を示す斜視図である。

【図4】 本発明の転位超電導テープユニットの第3の実施形態を示す斜視図である。

【図5】 本発明の超電導ケーブルの一実施形態を示す斜視図である。

【図6】 従来の転位超電導テープユニットが備えられた超電導ケーブルの例を示す斜視図である。

【図7】 図6の超電導ケーブルに備えられた転位超電導テープユニットの説明図であり、(a)は斜視図、(b)は断面図である。

【図8】 従来の超電導テープユニットが備えられた超

(a) 特開2003-92033

13

13

超導変圧器の巻線部の例を示す図である。

【図9】 図8に示した巻線部の要部を示す図であり、(a)は断面図、(b)は超導導線の巻内部位置の詳細構造を示す図である。

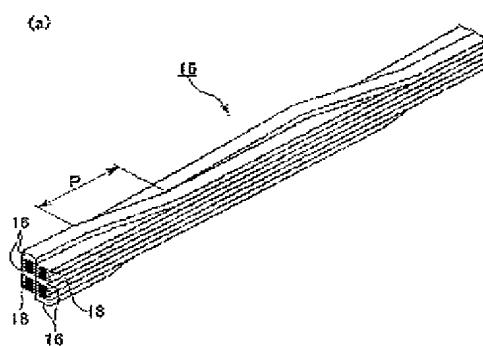
【符号の説明】

16, 35, 45, 55…巻位超導導線テープユニット、17…テープ状の強化材(補強テープ)、18…\*

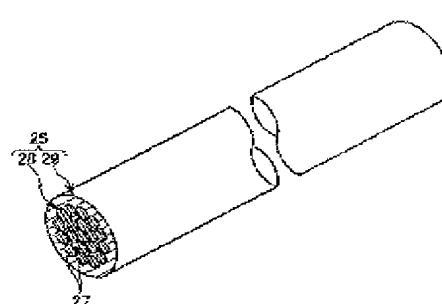
14

\* テープ状の超導導線体(超導導線テープ)、19…テープ状の超導導線、20…高純抗化膜、25…超導多心系膜(超導導線)、27…超導導線または超導導線体となる材料、28…コア部、29…基地(シース材)、40…超導導線ケーブル、47…フォーマ(管体)、P…巻位ピッチ。

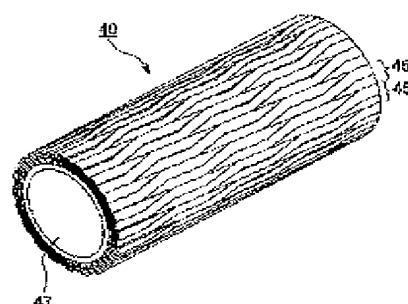
【図1】



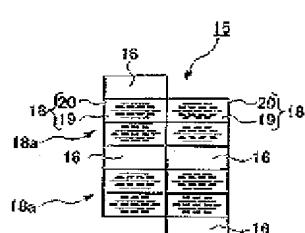
【図2】



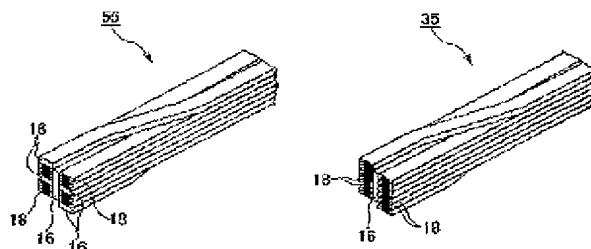
【図5】



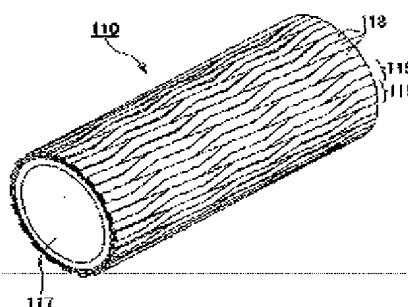
【図3】



【図4】



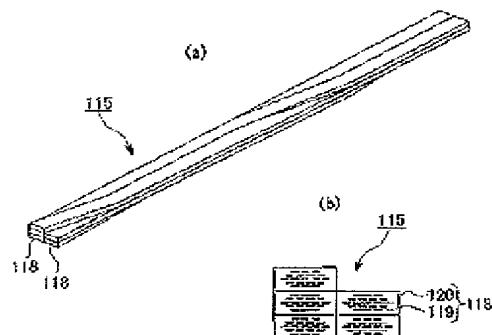
【図6】



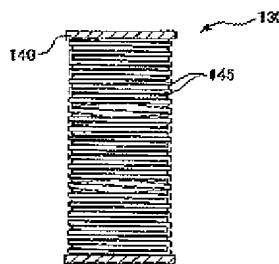
(9)

特開2003-92033

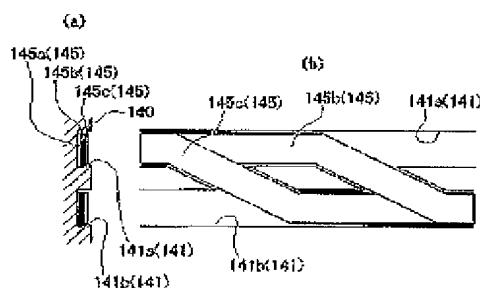
【図7】



【図8】



【図9】



## フロントページの続き

(72)発明者 筧木 知児  
東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会  
社フジクラ内

(72)発明者 武田 薫  
東京都江東区木場1丁目5番1号 株式会  
社フジクラ内

(72)発明者 長屋 重夫  
愛知県名古屋市緑区大高町字北側山20番地  
の1 中部電力株式会社電力技術研究所内

(72)発明者 鹿島 直二  
愛知県名古屋市緑区大高町字北側山20番地  
の1 中部電力株式会社電力技術研究所内

F ターム(参考) 5G321 AA01 AA11 AA12 BA01 BA03  
BA04 CA18 CA30 DA02 DA06